

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Gebrauchsmusteranmeldung

**Aktenzeichen:** 203 11 104.4

**Anmeldetag:** 19. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:** DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Traunreut/DE

**Bezeichnung:** Umrichter mit Dämpfungseinrichtung zur Vermeidung von Resonanzen

**IPC:** H 02 M, H 01 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Gebrauchsmusteranmeldung.

München, den 19. September 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Brosig

Umrichter mit Dämpfungseinrichtung zur Vermeidung von Resonanzen

=====

Die Erfindung betrifft einen Umrichter mit Dämpfungseinrichtung zur Vermeidung von Resonanzen. Solche Umrichter dienen der Versorgung von elektrischen Antrieben mit Energie.

Ohne moderne, elektronisch kommutierte Antriebe kommt heute kaum noch  
5 ein Gebiet der Technik aus. Es findet daher ein ständiger Entwicklungspro-  
zeß statt, um solche Antriebe noch leistungsfähiger auszuführen und dabei  
für immer weitere Anwendungen tauglich zu machen. So setzen sich z.B. in  
vielen Bereichen immer mehr sogenannte Direktantriebe durch, deren  
Drehmoment ohne eine Übersetzung unmittelbar auf die gewünschte An-  
10 wendung übertragen wird. Solche Direktantriebe stehen bereits für sehr  
hohe Drehmomente, bzw. als Lineardirektantriebe für sehr hohe Kräfte zur  
Verfügung.

Bedingt durch den Aufbau solcher Direktantriebe, wie er beispielsweise in  
der EP 793870 B1 beschrieben ist, spielen parasitäre Kapazitäten im Antrieb  
15 eine immer größere Rolle. In Verbindung mit einem Umrichter zur Versor-

gung des Antriebs mit Energie entstehen schwingungsfähige Systeme mit relativ niedrigen Resonanzfrequenzen im Bereich einiger 10 kHz.

Insbesondere Umrichter, die nach dem Prinzip des Hochsetzstellers arbeiten, erzeugen unerwünschte Anregungen dieser Resonanzfrequenzen durch  
5 das systembedingte Springen der Zwischenkreisspannung. Es wurde daher bereits beobachtet, daß in Verbindung mit einem solchen Umrichter an Antrieben mit besonders hohen parasitären Kapazitäten und daher besonders niedrigen Resonanzfrequenzen Schwingungen auftraten, die zur Zerstörung des Antriebs führten. Es traten dabei am Sternpunkt des Antriebs so hohe  
10 Spannungen auf, daß durch Teilentladung die Isolation des Sternpunkts gegen Masse durchschlagen wurde.

Zur Vermeidung solcher Probleme sind bereits verschiedene Ansätze bekannt geworden. Ihnen gemeinsam ist, daß die unerwünschten Resonanzschwingungen gedämpft werden. Dabei wird entweder direkt im Antrieb oder  
15 im Umrichter angesetzt.

Ein Beispiel für den erstgenannten Ansatz liefert die DE 100 59 334 A1. Dort wird beschrieben, wie sich Überschläge gegen Masse durch passive elektrische Komponenten zwischen Sternpunkt und Masse vermeiden lassen. Nachteilig an solchen Lösungen ist allerdings, daß die zusätzlichen elektrischen Komponenten erheblich Bauraum benötigen und daher nicht ohne  
20 weiteres in jeder Applikation einsetzbar sind.

Eine Lösung innerhalb des Umrichters beschreibt die EP 100 64 213 A1. Ausgehend von der Erkenntnis, daß die Induktivität der Eingangs-drossel des Umrichters ein wesentlicher Bestandteil des Schwingkreises aus Umrichter  
25 und Antrieb ist, wird ein in die Eingangs-drossel des Umrichters integriertes, transformatorisch eingekoppeltes Dämpfungselement vorgeschlagen.

Aufgabe der Erfindung ist es, auf eine weitere, besonders effektive Weise die Dämpfung der unerwünschten Resonanzschwingungen bereits im Umrichter zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 1. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Merkmalen, die in den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen aufgeführt sind.

Es wird ein Umrichter mit einer Dämpfungseinrichtung zur Vermeidung von Resonanzen beschrieben, der einen Gleichrichter, einen Wechselrichter und einen den Gleichrichter mit dem Wechselrichter verbindenden Zwischenkreis mit zwei auf unterschiedlichen Potentialen liegenden Leitern aufweist. In den Zwischenkreis ist eine stromkompensierte Drossel eingeschleift, so daß ein vom Gleichrichter zum Wechselrichter fließender Strom eine erste Wicklung der stromkompensierten Drossel durchfließt und ein vom Wechselrichter zum Gleichrichter zurückfließender Strom eine zweite Wicklung der stromkompensierten Drossel durchfließt.

Besonders kompakt läßt sich die stromkompensierte Drossel aufbauen, indem leitende Folien abwechselnd und durch Isolierfolien gegeneinander elektrisch isoliert auf einen Kern gewickelt werden, die dann gegensinnig von den Strömen zum und vom Wechselrichter durchflossen werden. Dadurch kompensieren sich die Magnetfelder der beiden Ströme gegenseitig, noch bevor sie den Kern der stromkompensierten Drossel magnetisieren. Eine Sättigung des Kerns läßt sich so auch noch bei sehr hohen Strömen, wie sie in Umrichtern für starke Antriebe auftreten können, vermeiden.

Weitere Vorteile sowie Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen anhand der Figuren. Dabei zeigt

- |    |         |   |
|----|---------|---|
|    | Figur 1 | ein Blockschaltbild eines Umrichters mit Antrieb, |
| 25 | Figur 2 | den Querschnitt einer stromkompensierten Drossel, |
|    | Figur 3 | eine Draufsicht einer stromkompensierten Drossel. |

Die Figur 1 zeigt ein Netz 1, dessen 3-phasige Wechselspannung über einen Umrichter 2 einen Antrieb 3 versorgt. Die Wechselspannung des Netzes 1 wird hierzu im Umrichter 2 zunächst mittels einem nach dem Prinzip des

Hochsetzstellers arbeitenden Gleichrichter 2.1 in eine Gleichspannung umgewandelt. Über einen Zwischenkreis 2.2 wird diese Gleichspannung an einen Wechselrichter 2.3 gegeben. Ein Zwischenkreiskondensator 2.7 speichert dabei Energie und stabilisiert die Spannungsdifferenz zwischen den Potentialen +UZ und -UZ auf den Leitern 2.11 des Zwischenkreises 2.2. Im Wechselrichter 2.3 wird die Gleichspannung des Zwischenkreises 2.2 wieder in eine Wechselspannung umgewandelt, deren drei Phasen entsprechend der gewünschten Ansteuerung der drei Phasen 3.1, 3.2, 3.3 des Antriebs 3 eingestellt werden.

Der Antrieb 1 in Figur 1 ist sternförmig geschaltet, doch auch in Dreieckschaltung können die geschilderten Resonanzen auftreten, die mit der Erfindung vermieden werden sollen. Die drei Phasen 3.1, 3.2, 3.3 des Antriebs 3 sind mit jeweils einem Anschluß im Sternpunkt 3.4 zusammengeschaltet, der jeweils andere Anschluß jeder Phase 3.1, 3.2, 3.3 ist mit dem Ausgang des Wechselrichters 2.3 verbunden.

In der Anordnung aus Umrichter 2 und Antrieb 3 existieren Streukapazitäten oder parasitäre Kapazitäten, die zusammen mit den Induktivitäten der Phasen 3.1, 3.2, 3.3 und anderen Bauteilen wie z.B. der Netzeingangsdrossel des Gleichrichters eine schwingungsfähige Anordnung bilden. Diese schwingungsfähige Anordnung kann für die weiter oben erwähnten Direktantriebe, und dort vor allem für solche mit besonders hoher Leistung, Resonanzfrequenzen aufweisen, die durch die Schaltvorgänge im nach dem Hochsetzstellerprinzip arbeitenden Gleichrichter 2.1 angeregt werden. In einem solchen Gleichrichter 2.1, wie er vor allem für rückspeisefähige Umrichter 2 eingesetzt wird, kann nämlich das Potential +UZ und -UZ der Leiter 2.11 erheblich springen. So kann z.B. das Potential +UZ, das nominal bei 325 V (alle Potentiale bezogen auf Masse bzw. Erdpotential) liegt, zwischen 0V und 650V springen, während gleichzeitig das Potential -UZ, das nominal bei -325 V liegt, zwischen -650 V und 0 V springt. Die Potentialdifferenz von 650V wird dabei vom Zwischenkreiskondensator 2.7 konstant gehalten. Wegen der parasitären Kapazitäten gegen Masse können diese Potentialsprünge aber dennoch Resonanzschwingungen anregen. Es wurden dabei

bereits Spannungen am Sternpunkt 3.4 des Antriebs 3 beobachtet, die weit über der Einsatzspannung der Teilentladung am Sternpunkt 3.4 lagen und damit zur Zerstörung des Antriebs 3 führten.

Um solche schädlichen Resonanzschwingen zu dämpfen oder ganz zu vermeiden, wird nun vorgeschlagen, eine stromkompensierte Drossel 2.4 in den Zwischenkreis 2.2 zu schalten. Eine solche Stromkompensierte Drossel 2.4 läßt einen Gleichstrom I1 vom Gleichrichter 2.1 zum Wechselrichter 2.3 ungehindert passieren, da das in der ersten Wicklung L1 vom zum Wechselrichter 2.3 fließenden Strom I1 erzeugte Magnetfeld gerade wieder kompensiert wird (abgesehen von unvermeidlichen Streuverlusten) vom in der Wicklung L2 von dem vom Wechselrichter 2.3 zurückfließenden Strom I2 erzeugten Magnetfeld.

Ströme, die beide Wicklungen L1, L2 aber in gleicher Richtung durchlaufen, sehen die volle Induktivität der Wicklungen L1 und L2, solange der Kern dieser Windungen noch nicht magnetisch gesättigt ist.

Solche Ströme entstehen durch das oben beschriebene Springen der Potentiale am Ausgang des Gleichrichters 2.1, wenn die Potentiale +UZ und -UZ am Eingang des Wechselrichters 2.3 mittels wenigstens einem Klemmkondensator 2.5 festgehalten werden. Wenigstens ein solcher Klemmkondensator 2.5 muß zwischen einem mit dem Wechselrichter 2.3 verbundenen Anschluß der stromkompensierten Drossel 2.4 und Masse 2.8 wirksam sein, um das Potential (z.B., +UZ) an diesem Anschluß zu klemmen. Das Potential des anderen Anschlusses (im Beispiel -UZ) wird dann über den Zwischenkreiskondensator 2.7 gehalten. Vorteilhaft ist es jedoch, wie in Figur 1 dargestellt, zwei Klemmkondensatoren 2.5 von jedem der mit dem Wechselrichter 2.3 verbundenen Ausgänge der stromkompensierten Drossel 2.4 gegen Masse 2.8 zu schalten. In seltenen Ausnahmefällen mag es möglich sein, auf die Klemmkondensatoren 2.5 zu verzichten, wenn parasitäre Kapazitäten deren Funktion übernehmen, bzw. wenn innerhalb des Umrichters 2 entsprechende Kapazitäten bereits vorhanden sind.

Die stromkompensierte Drossel 2.4 bewirkt also zusammen mit den Klemmkondensatoren 2.5, daß das Potential  $+U_Z$ ,  $-U_Z$  der Leiter 2.11 des Zwischenkreises 2.2 am Eingang des Wechselrichters 2.3 bei ausreichender Dimensionierung der Klemmkondensatoren 2.5 nicht mehr oder deutlich weniger springt, bzw. ein Sprung in einen langsamen Anstieg umgewandelt wird. Eine Anregung der Resonanzen und die daraus resultierenden negativen Folgen wie Überspannungen am Sternpunkt 3.4 des Antriebs 3 wird dadurch vermieden. Die stromkompensierte Drossel 2.4 muß hierzu so dimensioniert werden, daß ein Potentialsprung am Ausgang des Gleichrichters 2.1 am Eingang der stromkompensierten Drossel 2.4 so lange anliegen kann, bis das Potential wieder zurück springt, ohne daß der Kern der stromkompensierten Drossel 2.4 in Sättigung geht. Nur so läßt sich vermeiden, daß der Potentialsprung auch am Ausgang der stromkompensierten Drossel 2.4 spürbar wird. Ein vorteilhafter, da sättigungsfester und kompakter Aufbau einer solchen stromkompensierten Drossel 2.4 wird weiter unten beschrieben.

Es ist zu beachten, daß die stromkompensierte Drossel 2.4 zusammen mit dem oder den Klemmkondensatoren 2.5 selbst schwingungsfähig ist. Es muß daher für eine Dämpfung dieses Schwingkreises gesorgt werden. Hierzu gibt es mehrere Möglichkeiten.

Mittels eines Klemmwiderstandes 2.6, der in Reihe mit dem Klemmkondensator 2.5 gegen Masse 2.8 geschaltet ist, läßt sich eine solche Dämpfung ebenso erzielen wie mit einem Dämpfungswiderstand 2.10, der mittels Sekundärspulen 2.9 der stromkompensierten Drossel transformatorisch eingekoppelt wird. Werden diese Sekundärspulen 2.9 aus Widerstandsdraht gewickelt, ist kein separater Dämpfungswiderstand 2.10 notwendig. Eine Lösung, die eine Dämpfung mittels Klemmwiderstand 2.6 und Dämpfungswiderstand 2.10 erreicht, hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen.

Eine weitere Möglichkeit zur Dämpfung besteht noch darin, parallel zu wenigstens einer der Wicklungen L1, L2 der stromkompensierten Drossel 2.4 eine Impedanz, (z.B. eine Reihenschaltung eines Kondensators und eines Widerstandes), zu schalten.

Herkömmliche stromkompensierte Drosseln 2.4 weisen einen gemeinsamen Kern (z.B. einen Ringkern) auf, an dem an unterschiedlichen Stellen die beiden Wicklungen L1 und L2 angebracht sind. Die Kompensation des in den Wicklungen L1, L2 erzeugten magnetischen Flusses findet also erst innerhalb des Kerns statt. Dies birgt die Gefahr, daß der Kern magnetisch gesättigt wird und damit die Wirkung der stromkompensierten Drossel 2.4 verloren geht.

Es werden nun anhand der Figuren 2 und 3 vorteilhafte Ausgestaltungen der stromkompensierten Drossel 2.4 beschrieben, die zu deutlich robusteren, also weniger zur Sättigung neigenden stromkompensierten Drosseln 2.4 führen. Die Grundidee besteht darin, die Wicklungen L1 und L2 so auf einem gemeinsamen Kern 4 anzuordnen, daß sich bereits die Magnetfelder wechselweise angeordneter Bereiche der Wicklungen L1, L2 gegenseitig aufheben, ohne zu einer Magnetisierung des gemeinsamen Kerns 4 beizutragen.

Eine solche Wicklungsart läßt sich mit zwei gemeinsam, einander abwechselnd gewickelten Drähten realisieren. Eine höhere Induktivität pro Volumen - und damit bei gleicher Induktivität kleinere Spulen - erhält man aber durch einen Aufbau gemäß Figur 2. Die ersten und zweiten Wicklungen L1, L2 der stromkompensierten Drossel 2.4 sind hier mittels einander abwechselnd und gemeinsam auf den Kern 4 gewickelten leitenden Folien 5 realisiert. Diese leitenden Folien 5 können beispielsweise aus Aluminium oder Kupfer bestehen. Zwischen die leitenden Folien 5 sind noch Isolierfolien 6 gelegt, um die Wicklungen L1 und L2 gegeneinander zu isolieren. Auch eine isolierende Beschichtung der leitenden Folien 5 anstelle der Isolierfolien 6 ist zur weiteren Vereinfachung des Aufbaus denkbar. Ein solcher Spulenkörper 7 hat vier Anschlüsse, von denen je zwei der Wicklung L1 bzw. L2 zugeordnet sind.

Die Ströme I1 und I2 fließen gegenläufig durch die leitenden Folien 5. Die dabei erzeugten magnetischen Felder kompensieren sich bereits bis auf Streuverluste innerhalb der Wicklungen L1, L2 und tragen dadurch nicht zur Magnetisierung des Kerns 4 bei.



Es lassen sich gemäß Figur 3 auch zwei solcher in Figur 2 dargestellter Spulenkörper 7, die auf einen gemeinsamen, vorteilhaft U-förmigen Kern 4 gewickelt sind, zu einer stromkompensierten Drossel 2.4 mit je zwei Anschlüssen für die Wicklungen L1 und L2 verbinden. Von herkömmlichen  
5 stromkompensierten Drosseln 2.4 unterscheidet sich diese Anordnung dadurch, daß jeder der beiden Spulenkörper 7 Teile der Wicklungen L1 und L2 trägt, so daß auch hier ein gegensinnig durch die Wicklungen L1 und L2 fließender Strom nicht zur Magnetisierung des Kerns 4 beiträgt.

Die hier beschriebene Schaltung unterdrückt oder vermindert wirksam die  
10 Potentialsprünge im Zwischenkreis 2.2 eines nach dem Hochsetzstellerprinzip arbeitenden Umrichters 2. Die Anregung von tiefen Resonanzfrequenzen, die sonst zu einer Zerstörung des Antriebs führen könnten, werden zuverlässig vermieden oder auf ein unkritisches Maß gedämpft. Durch den beschriebenen kompakten Aufbau der stromkompensierten Drossel 2.4 kann  
15 die Schaltung einfach in bestehende Umrichter 2 integriert werden.

Ansprüche

=====

1. Umrichter mit Dämpfungseinrichtung zur Vermeidung von Resonanzen, mit einem Gleichrichter (2.1), einem Wechselrichter (2.3) und einem den Gleichrichter (2.1) mit dem Wechselrichter (2.3) verbindenden Zwischenkreis (2.2) mit zwei auf unterschiedlichen Potentialen (+UZ, -UZ) liegenden Leitern (2.11), dadurch gekennzeichnet, daß in die Leiter (2.11) des Zwischenkreises (2.2) eine stromkompensierte Drossel (2.4) eingeschleift ist, so daß ein vom Gleichrichter (2.1) zum Wechselrichter (2.3) fließender Strom (I1) eine erste Wicklung (L1) der stromkompensierten Drossel (2.4) durchfließt und ein vom Wechselrichter (2.3) zum Gleichrichter (2.1) zurückfließender Strom (I2) eine zweite Wicklung (L2) der stromkompensierten Drossel (2.4) durchfließt.
2. Umrichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und zweite Wicklung (L1, L2) der stromkompensierten Drossel (2.4) auf einen gemeinsamen Kern (4) gewickelt sind.
3. Umrichter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich die im Kern (4) der stromkompensierten Drossel (2.4) durch einen Gleichanteil der zum und vom Wechselrichter (2.3) fließenden Ströme (I1, I2) erzeugten Magnetfelder gegenseitig aufheben.
4. Umrichter nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklungen (L1, L2) der stromkompensierten Drossel (2.4) so angeordnet sind, daß sich bereits die Magnetfelder einander abwechselnd angeordneter Bereiche der Wicklungen (L1, L2) gegenseitig aufheben, ohne zu einer Magnetisierung des Kerns (4) beizutragen.

5. Umrichter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklungen (L1, L2) aus einander abwechselnd und gemeinsam auf den Kern (4) gewickelten leitenden Folien (5) bestehen.
- 5 6. Umrichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Potential (+UZ, -UZ) wenigstens eines mit dem Wechselrichter (2.3) verbundenen Anschlusses der stromkompensierten Drossel (2.4) mittels eines gegen Masse (2.8) geschalteten Klemmkondensators (2.5) geklemmt ist.
- 10 7. Umrichter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in Reihe mit dem Klemmkondensator (2.5) ein Klemmwiderstand (2.6) gegen Masse geschaltet ist.
8. Umrichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Schwingungen der stromkompensierten Drossel (2.4) mittels zusätzlicher Dämpfungsmittel (2.9, 2.10) gedämpft sind.
- 15 9. Umrichter nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß Schwingungen der stromkompensierten Drossel (2.4) mittels eines über Sekundärspulen (2.9) der stromkompensierten Drossel (2.4) transformatorisch eingekoppelten Dämpfungswiderstandes (2.10) gedämpft sind.

FIG. 1

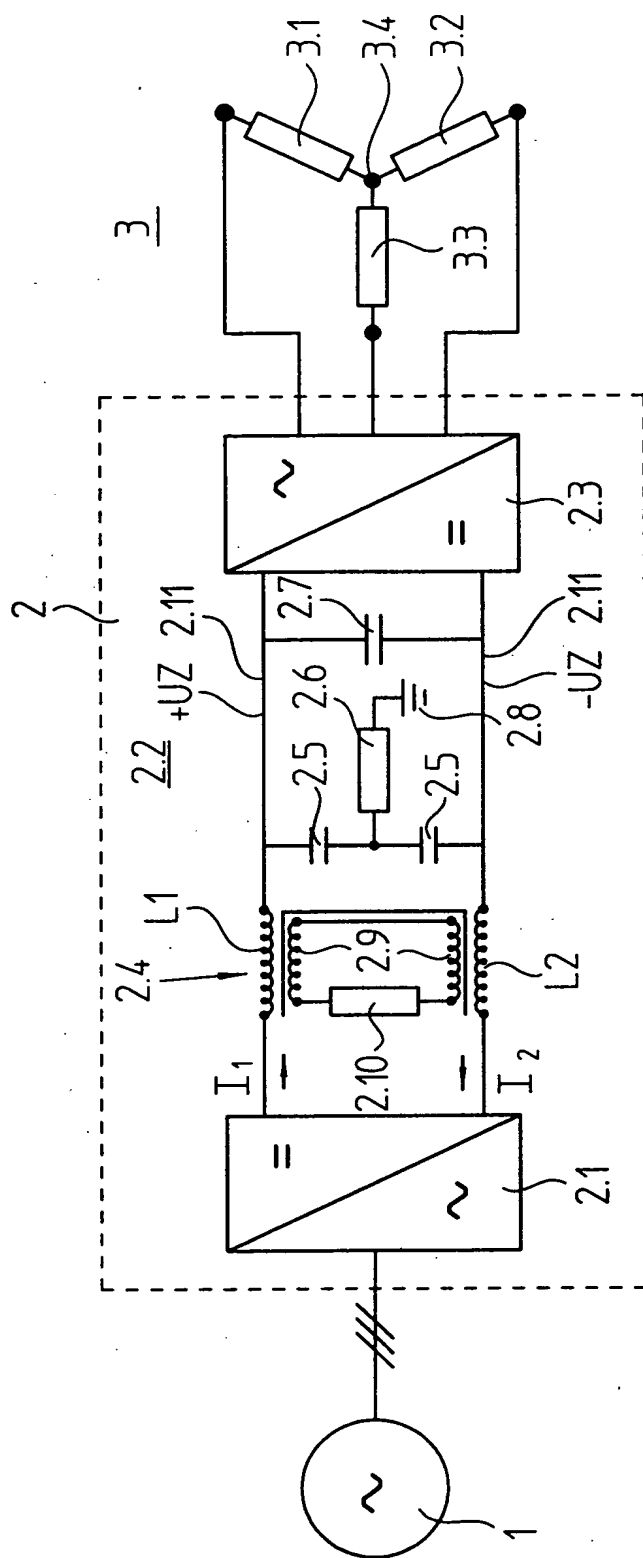


FIG. 2

2/2

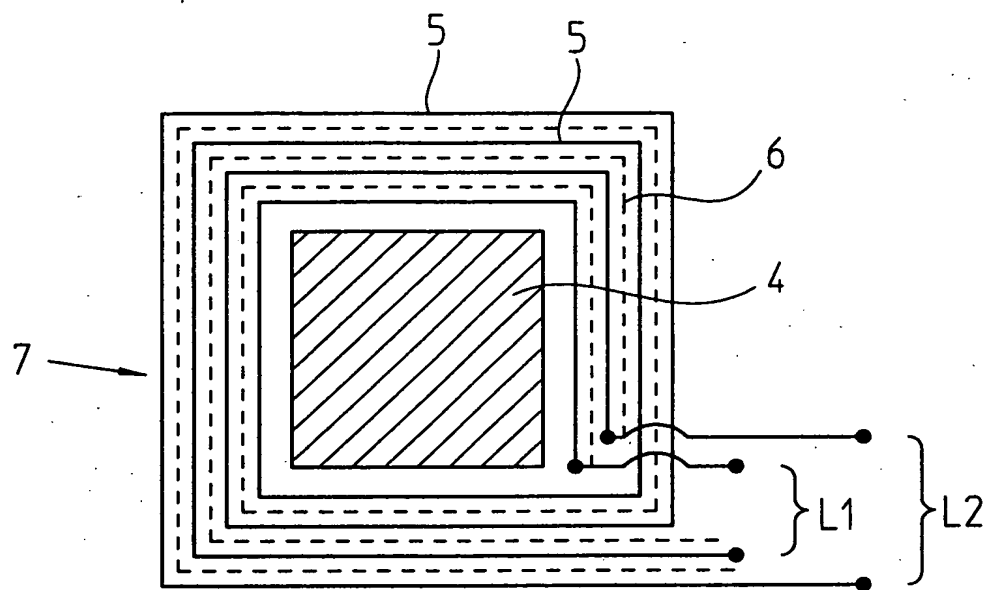


FIG. 3

